

Ю. В. Воронович
Y. V. Voronovich

А. Е. Покатилов
A. E. Pokatilov

Р. В. Левков
R. V. Levkov

**ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОВЕДЕНИЯ
БИОМЕХАНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТЕХНИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ
УДАРОВ РУКАМИ И НОГАМИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ
ПОДГОТОВКА» С ЦЕЛЬЮ КОРРЕКЦИИ ТЕХНИКИ
ВЫПОЛНЕНИЯ УПРАЖНЕНИЯ**

**PROBLEMS AND WAYS OF SOLUTION
OF THE BIOMECHANICAL ANALYSIS OF THE TECHNIQUE
OF PERFORMING PUNCHES AND KICKS BY DISCIPLINE
«PROFESSIONAL-APPLIED PHYSICAL TRAINING»
FOR THE PURPOSE OF CORRECTION
OF THE EXERCISE TECHNIQUE**

Аннотация. Статья посвящена вопросу исследования проблем биомеханики движения при оценке раздела «Удары руками, удары ногами» по дисциплине «Профессионально-прикладная физическая подготовка» для курсантов Министерства внутренних дел. Показана возможность разработки механико-математических моделей пространственного движения курсанта на основе координат звеньев биомеханической системы, полученных для плоскости, т. е. при использовании только одной видеокамеры при видеофиксации приемов.

Summary. The article is devoted to the issue of studying the problems of biomechanical movement in assessing the professional physical training of cadets. The possibility of developing mechanical and mathematical models of the spatial movement of a cadet in martial arts based on the coordinates of the links of the biomechanical system obtained for the plane, i. e. when using only one video camera for video recording techniques, is shown.

Ключевые слова: биомеханическая система, биомеханический анализ, курсанты, профессионально-прикладная физическая подготовка.

Keywords: biomechanical system, biomechanical analysis, cadets, professionally applied physical training.

Биомеханический анализ в спорте, включая и биомеханические исследования ударной техники, включает в себя независимо от области исследования ряд обязательных и одинаковых этапов. Во-первых, это получение исходных данных для исследований. Такими данными являются линейные и угловые

координаты положения звеньев опорно-двигательного аппарата во время движения. Наиболее удобным и широко распространенным методом получения таких координат в настоящее время является видеосъемка технических действий и спортивных упражнений. Во-вторых, необходимо наличие механико-математических моделей движения биомеханической системы на кинематическом и динамическом уровнях. Обычно это требует отдельной разработки таких моделей с учетом как методики получения исходных данных, так и методов последующего проведения вычислительного эксперимента. И в-третьих, биомеханический анализ включает в себя этап вычислительного эксперимента на компьютере. На данном этапе мы получаем количественную картину изменений кинематических и динамических характеристик движения курсанта как в целом, так и каждого звена и сустава в отдельности, что, в свою очередь, позволяет проанализировать используемую технику в прикладных видах подготовки курсанта.

Одним из важнейших этапов является первый, то есть этап получения координат звеньев биомеханической системы (далее — БМС). На сегодняшний день для этого используют большое количество видеокамер и специальные компьютерные программы для расшифровки видеокадров. Все эти технологии получили название технологии «захвата движения» и включают в себя два направления: маркерные и безмаркерные технологии [1; 2]. Все они сложны, трудоемки, требуют специального оборудования и программ, не всегда доступны, требуют адаптации к области исследования. При этом идеального варианта не существует, поэтому исследования зачастую носят вынужденный фрагментарный характер, и в этом случае стоит цель изучить только определенный элемент движения, приема, упражнения и пр.

Также отметим, что при использовании маркерных технологий для одной видеокамеры обычно не удается учесть пространственный характер движения, оно изучается как плоское движение, что вносит значительную погрешность в исследования биомеханики движения [3; 4].

Ранее нами была высказана гипотеза о возможности биомеханического исследования техники приемов в единоборствах с помощью видеосъемки всего одной камерой с последующим получением координатных положений звеньев БМС в пространстве, а не на плоскости [5; 6]. Для этого необходимо осуществить переход от декартовой прямоугольной системы координат к сферической и все модели движения разрабатывать в этой системе.

На рисунках 1 а) и 1 д) показан фрагмент видеосъемки техники удара рукой.



а) б) в) г) д)

Рис. 1. Удар рукой

Анализ кадров видеосъемки показывает следующие моменты:

- Движение курсанта является пространственным.
- Видеосъемка осуществляется одной видеокамерой, следовательно, координаты БМС получаются на плоскости, а не в пространстве.
- Движение является сложным, т. е. имеет место как вращательные движения звеньев БМС, так и линейное смещение относительно своего первоначального положения по рисунку 1 а).

На рисунках 2а) и 2б) показано изменение положения ног в процессе выполнения кругового удара ногой.



а) б)

Рис. 2. Круговой удар ногой

Так как движение курсанта мы определяем как пространственное сложное движение, то в первую очередь необходимо решить ряд теоретических вопросов. Один из первых и главнейших вопросов — введение систем координат. В любом случае при расшифровке видеокадров и получении координат у нас будут координаты в прямоугольной декартовой системе. Так как БМС перемещается во время удара, при этом являясь многозвенной, необходимо ввести одну абсолютную (неподвижную) систему координат и ряд подвижных координатных систем. Одна должна находиться в полюсе, а остальные должны быть привязаны к суставам опорно-двигательного аппарата [7; 8]. В качестве полюса подходят или опорная точка (например, ноги) или область в районе бедер (общий центр масс и пр.).

На рисунке 3 показан один из возможных вариантов введения координатных систем и выбора полюса P при выполнении курсантом удара ногой.

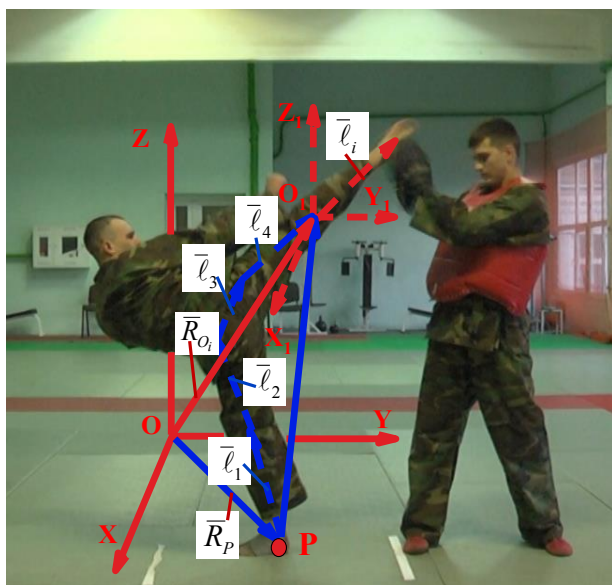


Рис. 3. Координатные системы

Здесь абсолютная (неподвижная) система координат $OXYZ$ связана с неподвижными матами (опорой), одна из подвижных систем $O_1X_1Y_1Z_1$ расположена в коленном суставе правой ноги (как пример), а в качестве полюса P выбран контакт опорной стопы левой ноги с матом (опорой).

Такой подход позволяет разделить вращательные движения звеньев в суставах БМС и перемещение полюса P , то есть непосредственно самой биомеханической системы в абсолютной системе координат [9].

Следующим моментом является тот факт, что перед биомеханическим анализом выполняют ряд измерений тела курсанта. Определяют рост и длину конечностей, что, в свою очередь, позволяет определить параметры каждого звена биомеханической системы [10].

На рисунке 4 показаны сферические и декартовые координатные системы, привязанные к i -му звену БМС.

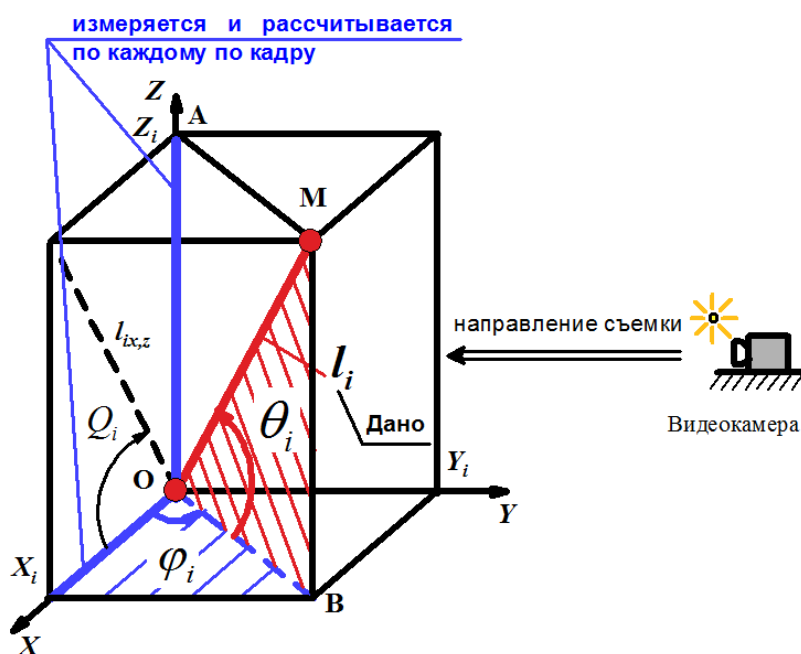


Рис. 4. Системы координат для звена БМС: сферическая и декартовая прямоугольная

В результате натурального эксперимента после измерения по кадрам видеосъемки для каждого звена имеем координаты X_i и Z_i . Параметры тела известны, поэтому, зная действительные размеры звена l_i , рассчитываются координата Y_i и углы сферической системы координат: вертикального — θ_i и полярного — φ_i .

На основе рисунка 4 запишем уравнения для расчета координат и проекций:

$$\theta_i = \arcsin \frac{Z_i}{l_i}, \quad (1)$$

$$MA = OB = \sqrt{l_i^2 - Z_i^2}, \quad (2)$$

$$\varphi_i = \arccos \frac{X_i}{OB} = \arccos \frac{X_i}{\sqrt{l_i^2 - Z_i^2}}, \quad (3)$$

$$Y_i = OB \sin \varphi_i = \sqrt{l_i^2 - Z_i^2} \sin \varphi_i. \quad (4)$$

По уравнениям (1)–(4) рассчитывают пространственные декартовы и сферические координаты после расшифровки кадров одной видеокамеры.

При расчете необходимо действительные размеры звеньев перевести в масштаб кадра или, наоборот, проекции с кадра пересчитать в реальный масштаб размеров звеньев БМС.

По результатам видеосъемки мы получаем таблицу данных с углами Q_i для каждого звена БМС по всем кадрам видеосъемки. Эти углы являются обобщенными координатами при плоском движении БМС. В нашем случае это проекции координат на сагиттальную плоскость. Имеем:

$$Q_i = \operatorname{arctg} \frac{Z_i}{X_i}. \quad (5)$$

В формуле (5) нет необходимости учитывать масштаб проекций.

Отметим, что применительно к задачам биомеханического анализа БМС имеем следующую функциональную связь в уравнениях движения для сферических координат отдельного звена:

$$l_i = \text{const}, \quad (6)$$

$$\theta_i = \theta_i(t), \quad (7)$$

$$\varphi_i = \varphi_i(t). \quad (8)$$

Таким образом, в рамках исследуемой задачи целенаправленного движения БМС и принятой для этого кинематической модели опорно-двигательного аппарата обобщенными координатами звена относительно проксимального

сустава являются вертикальный угол θ_i и полярный угол φ_i . Длина звена l_i не меняется [11].

Несколько другая ситуация в случае рассмотрения сферических координат в абсолютной (неподвижной) координатной системе. Имеем 3 обобщенные координаты для любой i -й точки: $R_i, \theta_{R_i}, \varphi_{R_i}$. Тогда по рисункам 3 и 4 имеем:

$$R_i = R_i(t), \quad (9)$$

$$\theta_{R_i} = \theta_{R_i}(t), \quad (10)$$

$$\varphi_{R_i} = \varphi_{R_i}(t). \quad (11)$$

Точкой i может быть сустав, центр масс i -го звена биомеханической системы и пр.

На основе уравнений (1)–(11) разрабатываются механико-математические модели движения биомеханической системы, исходя из принятой классификации движения БМС в целом и отдельно по звеньям. Наиболее удобно движение БМС показывать как сложное: с движением полюса и отдельно вращением звеньев в проксимальных суставах.

Следующей проблемой является необходимость разработки структуры пространственного движения спортсмена.

Удобно представить движение как сумму двух движений: полюса P и вращательного движения звеньев в суставах. На рисунке 3 был показан случай, когда за полюс P выбрана стопа. Тогда вектор, описывающий положение сустава O_i через положение полюса, равен:

$$\bar{R}_{O_i} = \bar{R}_P + \sum_{i=1}^k \bar{l}_i. \quad (12)$$

Уравнение (12) в общем виде представляет координаты любой точки БМС в абсолютной системе координат. На основе этого выражения и необходимо разрабатывать механико-математические модели, как в декартовых, так и в сферических координатах.

Здесь звенья БМС показаны как векторы, задающие определенное направление обхода кинематической цепи, моделирующей биомеханическую систему.

На основании вышеизложенного констатируем: анализ ударной техники показывает, что движение курсанта является пространственным. Это сильно искажает результаты натуральных экспериментов при видеосъемке движения одной камерой. Предварительное знание геометрии масс человеческого тела и данных видеосъемки позволяет рассчитать пространственные координаты всех точек биомеханической системы на всей траектории движения. При этом используются две координатные системы: прямоугольная декартова

и сферическая. Формулы пересчета координат из одной системы в другую позволяют получить полную картину пространственного движения. При этом сферическая система координат используется на трех уровнях:

- для определения координат каждого звена относительно ближайшего (дистального или проксимального) сустава;
- для определения координат звена относительно полюса;
- для определения координат звена в сферической системе относительно начала координат декартовой системы координат (неподвижной, абсолютной).

1. Киркор М. А., Покатилов А. Е., Гальмак А. М. Математические модели движения в биомеханике спорта // Научные и методические аспекты математической подготовки в университетах технического профиля : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 25 окт. 2019 г. / учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта». Гомель, 2019. С. 18–21. [Вернуться к статье](#)

2. Воронович Ю. В., Лавшук Д. А., Солонец А. В. Эволюция бесконтактных биомеханических методов регистрации техники соревновательных упражнений // Здоровье для всех : материалы IV междунар. науч.-практ. конф., Пинск, 26–27 апр. 2012 г. / Полесский гос. ун-т ; Национальный банк Республики Беларусь [и др.]; редкол.: К. К. Щебеко [и др.]. Пинск : ПолесГУ, 2012. С. 63–65. [Вернуться к статье](#)

3. Воронович Ю. В., Лавшук Д. А., Загrevский В. И. Сравнительный биомеханический анализ основных динамических характеристик техники рывка в тяжелой атлетике // Мир спорта. 2013. № 1 (50). С. 35–40. [Вернуться к статье](#)

4. Воронович Ю. В., Лавшук Д. А., Загrevский В. И. Педагогико-биомеханическое структурирование упражнения «Рывок» в тяжелой атлетике // Биомеханика двигательных действий и биомеханический контроль в спорте : материалы V Всерос. с междунар. участием науч.-практ. конф., 23–24 нояб. 2017 г. / под ред. А. Н. Фураева. Малаховка. 2017. С. 17–22. [Вернуться к статье](#)

5. Воронович Ю. В., Каранкевич А. И., Покатилов А. Е. Возможности использования обобщенных координат биомеханической системы для оценивания отдельных видов ударной техники (на примере прямого удара ногой) // Актуальные вопросы права, образования и психологии : сб. науч. тр. / Могилев. ин-т М-ва внутр. дел Респ. Беларусь. Могилев, 2020. Вып. 8. С. 204–215. [Вернуться к статье](#)

6. Покатилов А. Е., Воронович Ю. В., Скачинский А. П. Биомеханический аспект подготовки курсантов в области профессионально-прикладной физической подготовки // Актуальные проблемы огневой, тактико-специальной и профессионально-прикладной физической подготовки : сб. ст. V Междунар. науч.-метод. конф. / редкол.: В. В. Борисенко (отв. ред.) [и др.]. 2020. С. 282–288. [Вернуться к статье](#)

7. Григорьев А. Ю., Малявко Д. П., Федорова Л. А. Сферическое движение твердого тела : учеб.-метод. пособие. СПб. : НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. 37 с. [Вернуться к статье](#)

8. Воронович Ю. В., Лавшук Д. А. Совершенствование биомеханической структуры тяжелоатлетического упражнения «Рывок» // Физическое воспитание, спорт, физическая реабилитация и рекреация: перспективы и проблемы развития : материалы VI междунар. электрон. науч.-практ. конф., Красноярск, 20–21 мая 2016 г. / под общ. ред. Т. Г. Арутюняна ; Сибир. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2016. С. 60–63. [Вернуться к статье](#)

9. Покатилов А. Е., Воронович Ю. В., Симанкова Т. Д. Проблемы исследования пространственного движения в спорте // Биомеханика двигательных действий и биомеханический контроль в спорте : материалы VI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Малаховка, 29–30 окт. 2020 г. / Москов. гос. акад. физ. культуры ; ред.-сост.: А. Н. Фураев. Малаховка, 2020. С. 89–94. [Вернуться к статье](#)

10. Воронович Ю. В. Компьютерная программа построения биомеханических характеристик техники тяжелоатлетических упражнений // Актуальные вопросы права, образования и психологии : сб. науч. тр. / учреждение образования «Могилевский институт Министерства внутренних дел Республики Беларусь». Могилев, 2019. Вып. 7. С. 94–98. [Вернуться к статье](#)

11. Загrevский В. И., Лавшук Д. А., Воронович Ю. В. Кинематика пространственной модели неразветвленной биомеханической системы в условиях упругой фиксированной опоры // Современное образование и воспитание: тенденции, технологии, методики : сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию МГУ им. А. А. Кулешова, Могилев, 28 марта 2013 г. Могилев : МГУ им. А. А. Кулешова, 2013. С. 330–333. [Вернуться к статье](#)